

# 原料乳のリポリシスと異常風味ランシッド

北海道大学農学部 齋藤善一

## 1. はじめに

牛乳は食品であるから、安全だけでなく風味がよくなければならない。米国の牛乳風味委員会<sup>1)</sup>は牛乳の異常風味を7群に大別しているが、そのひとつが脂肪の加水分解によって生じる lipolyzed flavor であり、その内容を示す用語として、ランシッド、酪酸臭、苦味、石鹸臭、山羊臭をあげている。国際酪農連盟の調査<sup>2)</sup>によれば、多くの国では、牛乳、乳製品における脂肪分解は重要な問題とは考えていない。それは、長年の研究と実態調査の結果から、その対策、防止法が生産者ならびに牛乳取扱者の間によく周知されているからである。我が国では、原料乳の細菌数や成分組成の改善に努力が向けられ多大の成果をあげたが、風味、特に脂肪分解による異常風味の発生に関しては理解が十分ではない。

牛乳脂肪は、酪酸、カプロン酸など揮発性、水溶性の脂肪酸を構成成分として含んでいる。脂肪分解により、此等の脂肪酸が遊離になると牛乳の風味が著しく悪化する。チーズのように独特の風味を形成するために遊離脂肪酸が必要とされる場合もあるが、原料乳においては遊離脂肪酸の増加を出来るだけ避けなければならない。特に、冷蔵期間が長くなると脂肪分解による異常臭と酸化臭が発生しやすいといわれるので、今後原料乳の品質をさらに向上させるためには脂肪分解について検討する必要がある。

本報では、個乳および混合乳(原料乳)の冷蔵中における遊離脂肪酸の増加に影響を与える種々の因子について説明する。脂肪を加水分解する酵素はリパーゼ(lipase)、あるいはリポプロテインリパーゼ(lipoprotein lipase)であるが、牛乳では両者は同じものとみなされているので<sup>3,4)</sup>リパーゼとした。なお、1980年以前に得られた知見については、文献の多くを省略したので他の総説<sup>5-10)</sup>を参照されたい。

## 2. リポリシスとランシッド

牛乳中には、1~2分間で風味を損うに十分なリパーゼと脂肪が存在するにもかかわらず、通常は脂肪分解はほんの僅かしかみられず、風味を悪くすることもない。それは、脂肪球表面は脂肪球膜物質におおわれ、リパーゼの作用から脂肪が保護されているからである。脂肪球膜物質は腓リパーゼや微生物リパーゼに対しても阻害作用があるという<sup>11)</sup>。牛乳中の脂肪があまり分解されないので、牛乳本来のリパーゼは存在しないと考えられた時代もあった。しかし、均質化などにより速かに遊離脂肪酸が増加することからリパーゼの存在が確かめられた。

牛乳の冷蔵中に僅かにみられる遊離脂肪酸の増加を自然発生リポリシス(Spontaneous lipolysis)といい、脂肪球膜に含まれるリパーゼ、あるいは冷却により脂肪球に吸着したリパーゼによると考えられている。自然発生リポリシスの進行を示すと図1のとおりである。最初の3時間位は遊離脂肪酸の増加の程度がやや低く、この間にリパーゼが脂肪球と結合する<sup>12)</sup>。以後直線的に24時間まで増加するが、その後の24時間における増加量は最初の24時間にくらべて少なく、この傾向はリポリシスの程度が高い牛乳の場合に顕著であった。牛乳中における脂肪分解には限界があることはすでに知られており、48時間以後はほとんど増加しない場合もある<sup>13)</sup>。この現象をSelf-terminationという。一方、均質化、温度処理などのいわゆる活性化処理を加えた時に起るリポリシスを誘導リポリシス(induced lipolysis)というが、カゼインミセルに結合したリパーゼも反応に加わるので、一般に自然発生リポリシスよりも顕著である。なお、活性化処理は脂肪球に対する作用であり、リパーゼに対する影響ではない。

リポリシスの程度が進み異常が感知されるようになると、この異常風味をランシッド(rancid)

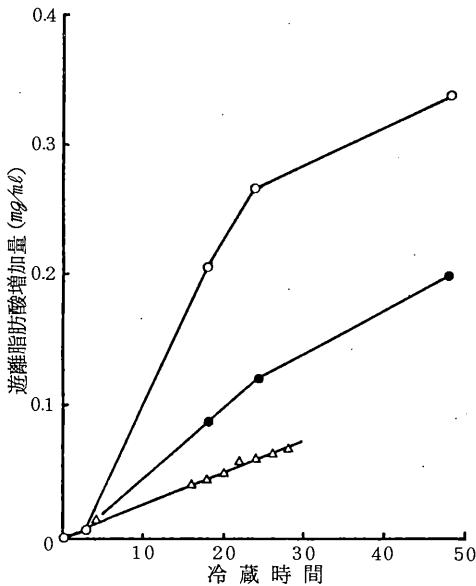


図1. 個乳の冷蔵中における遊離脂肪酸の増加

パルチン酸として示す。○高リポリシス乳(5頭平均), ●中リポリシス乳(3頭平均), △低リポリシス乳(1頭)

という。ランシッドは、石鹸様の後味を与え、多くの場合、持続性のある不快な苦味を伴う。米国における牛乳審査の基準によれば、軽度のランシッドでも判定は劣等(poor)であり、強い飼料臭、雑草臭、不潔臭と同じ程度に減点される。油脂工業では、脂肪の酸化を主とした変敗をランシッドと呼ぶので、リパーゼによる場合を加水分解的ランシッド(hydrolytic rancid)とし、酸化的ランシッド(oxidative rancid)と区別するようになった。牛乳加工の分野でもランシッドの代わりにリパーゼ臭とかリポリシス臭という用語が用いられるようになりつつあるが、まだ一般的でないので、本報では従来の習慣によりランシッドとした。

遊離脂肪酸含量の表示法はいろいろあるが Acid Degree Value (ADVと略記、 $\text{N KOH}/100\text{g 脂肪}$ )として示される場合が多い。トリトンX-100とリン酸塩の混液(BDI試薬)で抽出し滴定する方法が米国の Bureau of Dairy Industries の標準法<sup>14)</sup>とされ、広く

用いられている。同法によれば、ADV 0.4以下は正常、0.7~1.1は不明確、1.2は軽いランシッド、1.5は極端なランシッドとしている。ランシッドを感知する閾値はADV 1.85~2.05ともいわれ<sup>15)</sup>、2.2以上であれば必ず検出されるともいわれるが<sup>16)</sup>、一般に1.2~2.0がランシッドの閾値と考えられている<sup>17)</sup>。BRATHEN<sup>18)</sup>は、pH比色法による自動分析で調査した結果、搾乳直後は0.45ミリ当量/l、集乳時は1.00ミリ当量/lを許容上限としているが、脂肪率4%としてBDI法のADVに換算すると、0.8、1.8となる。

ドイツ北部のタンクローリー乳164試料の遊離脂肪酸含量は $0.58 \pm 0.08$ ミリ当量/lであったという<sup>19)</sup>。SENYKら<sup>20)</sup>の調査では、原乳量の26~52%はADVが1.0以上であり、その原因の55%はパイプラインミルクにおける空気漏れ、21%はパイプラインの傾斜不適および立ち上りパイプ、32%は冷却時の凍結又は冷却遅延、18%はバルククーラーでの過剰攪拌、23%はポンプの空転であったという。SHIPEら<sup>21)</sup>によれば、消費者が不快を感じた殺菌乳の平均ADVは1.8であった。

### 3. 個乳のリポリシス

自然発生リポリシスの程度は牛個体によって大きな差がある。検出される程のリポリシスを示さない牛乳を生産する牛もあれば、明らかにランシッドを示すようになる牛乳を生産する牛もある。リパーゼによる風味欠陥を示す個乳は3~35%<sup>22)</sup>あるいは21%<sup>23)</sup>にもおよぶといわれるが、遺伝的には関連性はないという<sup>24)</sup>。筆者が1.7頭につき13回以上調査をしたところ、24時間冷蔵による遊離脂肪酸の増加量(パルチン酸としてmg/ml)は、各個体の平均値は0.04~0.25であり、各個体毎の変動係数は42~102%であった。パケット型ミルクを用いたのでパイプラインミルクの場合にくらべ脂肪球におよぼす物理的効果は少ないが<sup>25)</sup>、それでも脂肪球の損傷は幾分あり、それが日々の変動要因の一部になり得るがそれよりも個体による差は明らかに大きく、高いリポリシスを示す牛乳を生産する牛がみられた。なお、混合乳のリポリシスは個乳が示すリポリシスの加重平均よりも高い場合が多かった。牛によって大きな差

があり、同じ牛でも調査日によって変動する原因はよくわからないが、多くの研究者がおこなった実態調査により、自然発生リポリシスに影響すると思われる種々の要因が可成り明らかになった。一般に、乳量が減少するような条件のもとでリポリシスの程度が高いとされている。しかし、いずれの場合も影響の程度は個体によって大きな差があり、時には逆の結果が得られることもある。

泌乳期：末期乳がリポリシスを起しやすいことは一般に認められている。特に飼料の質、量の低下があった時はランシッドになるという<sup>22)</sup>。

JELLEMA & SCHIPPER<sup>26)</sup>は泌乳期よりも低乳量の方が主要要因であるとした。SAITO<sup>27)</sup>は、泌乳期に関係なく同程度のリポリシスを示すもの、泌乳期前半にリポリシスの程度が高くなりそれを持続するもの、泌乳中期にリポリシスの程度がやや低下し末期に増加するものを認めているが、泌乳期に減少する例はなかった。泌乳末期には乳量が減少するから、乳量とリポリシスは有意の負相関を示した。従って、特定の時期に末期乳が集中しないように注意する必要がある。なお、欧米では1回搾乳の牛乳を受入れない国があるが、末期乳を避けるためであろう。

搾乳間隔：等間隔で搾乳すべきであるが、一般に朝の搾乳から夕方の搾乳までの時間は夕方から翌朝までの搾乳にくらべて短い。そのため夕乳は朝乳よりもリポリシスの程度が高い<sup>27,28)</sup>。朝の搾乳から2時間毎に搾乳を繰り返したところ、3回目までは上昇し、通常夕乳の2～3倍のリポリシスに達した<sup>29)</sup>。また、朝の搾乳から夕方の搾乳まで8時間の場合、夕乳は朝乳の1.8倍(8頭平均)のリポリシスを示した。搾乳間隔が6時間の場合、12時間毎の場合の2.2倍であったという<sup>30)</sup>。

MURPHYら<sup>31)</sup>は、搾乳間隔を同じにすると、朝乳と夕乳はリポリシスに差がないと述べている。彼らは、夕乳はリポリシスの程度が高くても脂肪率が高いから、単位脂肪量当りのリポリシスは朝乳と同じであるとしているが、筆者の調査では、単位脂肪量当りのリポリシスも朝乳の方が低かった。JELLEMA<sup>32)</sup>は、2分毎に交互に搾乳間隔を変えることにより、搾乳間隔短縮によるリポリシス増大の原因は乳腺細胞の段階にあることを証明し、阻害物質と促進物質の割合がリポリシスの程度を

支配するとしている。リポリシスの面からも、搾乳間隔を等しくすることが望ましい。

前搾り乳と後搾り乳：THOMAS & HARPER<sup>33)</sup>は、前搾り乳は後搾り乳にくらべ2～3倍のリポリシスを示し、脂肪球の大きさと逆の関係にあると報告した。筆者の調査では、それ程の差はないが、搾乳の進行にともないリポリシスの程度が低下する傾向がみられた。脂肪率の高い後搾り乳がリポリシスの程度が低いのは意外であるが、リパーゼ活性も低いといわれる<sup>34)</sup>。

飼料：飼料不足や、低品質飼料の給与によりリポリシスが増大することはよく知られている<sup>28,35,36)</sup>。CONNOLLY<sup>37)</sup>は、飼料不足によるストレスを重視している。青草、ニンジン等の給与、放牧はリポリシスの程度を低下させ、サイレージや劣質の乾草はリポリシスを起しやすくする飼料といわれる。乳脂肪中のパルミチン酸含量を低くする放牧期の生乳はランシッドになりにくいという。ASTRUPら<sup>38)</sup>はパルミチン酸の給与は血中にリパーゼ活性促進物質を放出させ、それが乳中に移行するとしている。さらに、彼らは、飼料不足のため体脂肪を利用するとき、パルミチン酸は肝臓に移行し、小さな低密度リポプロテイン粒子を沢山作るので活性化作用が増加すると推定している。また、標準給与量よりも10%多いエネルギー、蛋白質を与えると牛乳の風味は良好であるが、温度処理によるリポリシスの増加が大きいという<sup>39)</sup>。

季節・気候：冬期舎飼時の牛乳はリポリシスを起しやすい。ドイツの或工場の受入乳が示したリポリシスは、4～6月に低く、10～12月に高かった(1.6倍)<sup>40)</sup>。気温や湿度はあまり関係がないといわれ<sup>22)</sup>、飼料や栄養状態、末期乳の集中<sup>41)</sup>などの影響が季節による差になって現われると考えられる。

乳房炎・潜在性乳房炎：乳房炎、あるいは乳房炎の病歴を持つ牛の乳はリポリシスの程度が高いとされている。リパーゼ活性が高いといわれる細胞が多いこと<sup>42,43)</sup>、リパーゼに対する促進因子を含む血液成分の混入<sup>44)</sup>、などが原因と考えられる。SUNDHEIMら<sup>45)</sup>は、血清の添加によりクリームにリパーゼ活性が移行することを示し、血清中の高密度リポプロテインがリパーゼ活性を増大させる

ことを示した。これは血清が乳中に漏れることが自然発生リポリシスの原因とする説を支持するものであろう。pHの上昇、起炎菌のリパーゼ活性、脂肪球膜物質の異常なども関与しているかも知れない。明らかな乳房炎乳は出荷されないが、細胞数がやや多い程度の、いわゆる潜在性乳房炎の場合が問題とされる<sup>46,47</sup>。ウイスコンシン乳房炎試験陽性乳はリポリシスの程度が高く、物理的処理によっても増加しやすく<sup>47</sup>、しかも遊離脂肪酸中低級脂肪酸の割合が高いのでランシッドを感じやすいといわれる<sup>48</sup>。細胞数が300万~500万/mlに達する牧場ではランシッドが認められるという<sup>49</sup>。また、JURCZAK & SCIUBISZ<sup>50</sup>によれば、50万~100万/mlの乳は10~30万/mlの場合の1.3倍のリポリシスを示すが、100万/mlを越えるとむしろ低下し、それは細胞由来のプロテアーゼによるリパーゼの破壊によると推察している。

脂肪率：基質となる脂肪の含量が高い程リポリシスの程度が高くなると考え勝ちであるが、実際は必ずしもそうではない。泌乳末期や、搾乳間隔の短縮など、乳量の減少をともなう場合は脂肪率の上昇とリポリシスの増大がみられる。一方、搾乳の進行により脂肪率は高くなるがリポリシスは低下の傾向を示す。SAITO<sup>27</sup>)によれば、夕乳、朝乳、混合乳のいずれについてもリポリシスは脂肪率と有意の相関を示さなかった。AHRNÉ & BJÖRCK<sup>51</sup>)は、泌乳期の場合リポリシスが脂肪率や乳量と相関があるのは、此等の因子がたまたま泌乳期と関連しているためであるとし、NEEDS<sup>52</sup>)もこれを支持している。

以上のように、リポリシスが脂肪率と関係がないのは、脂肪球の大きさ、脂肪球膜、阻害物質、促進物質など、他の要因が多いからであろう。

#### 4. 搾乳後の取扱いとリポリシス

牛乳のリポリシスは搾乳後の簡単な物理的処理により著しく増大する(誘導リポリシス)。ほとんどリポリシスを示さなかった個乳が処理後にランシッドになることもある。自然発生リポリシスの程度が高い個乳では誘導リポリシスも起りやすいといわれる。パイプラインミルクカーにおける空気漏れ、泡立てによるランシッドも誘導リポリシ

スによるものである。さらに、温度変化、ポンプの過度の使用などによってリポリシスは増大する。その原因は、脂肪球の損傷など、基質の状態に対する効果であり、リパーゼ自体にはあまり関係がないと思われる。

リパーゼは脂肪と水の界面、すなわち、脂肪球の表面で作用する。温度変化や攪拌など、僅かの物理的処理によっても脂肪球表面の状態は影響されるので、リパーゼによる遊離脂肪酸生成も微妙に変化する。たとえば、攪拌は、低温では脂肪球膜物質の離脱を、脂肪の融点以上では均質化効果をともなう。さらに泡立ては界面における脂肪球膜物質の離脱ならびに変性をともなうと考えられる。LEHMANN<sup>40</sup>)は、原料乳の遊離脂肪酸含量は0.4~0.6ミリ当量/lであるが、機械的処理による0.1~0.2ミリ当量/lの増加は避けられないとし、その程度であれば差支えないと述べている。原料乳は自然発生リポリシスだけでランシッドになることはないであろうが、これに誘導リポリシスが加わるとランシッドになるおそれがある。自然発生リポリシスを防ぐには消極的な手段しかないが、誘導リポリシスは、牛乳の取扱いを注意すること、すなわち、牛乳を丁寧に扱うこと、冷却後の温度変化を避けることによって最少限に留めることが出来る。搾乳後の処理とリポリシスの関係は、主として混合乳を対象として研究されているが、次の通りである。

冷却：KITCHEEN & ASTON<sup>53</sup>)は、速やかに冷却する方がリポリシスの程度が低いとしているが、斎藤・澤村<sup>54</sup>)は逆の結果を得ている。すなわち、徐々に冷却したものは急冷したものに比べリポリシスの程度が低かった。また、搾乳後30℃に1時間保温した後のリポリシスは直ちに氷水浴で冷却した場合の66%にすぎず、加温時における増加を加えてもやや低かった。NIELSEN<sup>55</sup>)は、1~3℃に冷却すると脂肪球の安定性が低下するので、細菌数の少ない牛乳を生産し、冷却は6~7℃に留めることを提案している。リポリシスの面からは興味ある意見であるが、乳質全体を考えるならば、細菌数の少ない牛乳であっても出来るだけ冷却する方が望ましい。

HOHE<sup>56</sup>)は牛乳中のリパーゼ活性分布の冷却

による変化を報告した。すなわち、乳腺細胞や脂肪球膜由来の fluff と呼ばれる画分が冷却後は超遠心により分離され、それは脂肪球膜やカゼインミセルと同程度の活性を示した。なお、冷却時の攪拌は fluff のリパーゼ活性に影響しなかったという。このように、冷却は、牛乳全体の構造に目に見えない影響を与えることもリポリシスに影響する。

温度処理：冷却した牛乳を加温し、再び冷却すると、その後のリポリシスが增大することは古くから知られ、Temperature activation と呼ばれる。均質化などに比べ、その効果はあまり大きくないと思われていたが、ランシッドにするに十分な効果がある<sup>54,57</sup>。WANG & RANDOLPH<sup>58</sup> は、20、30℃加温と再冷却によるリパーゼ活性の移動を調べ、温度活性化は脂肪球膜に対するリパーゼの吸着によるとした。斎藤・澤村<sup>54</sup>によれば、冷却した少量の牛乳を50℃湯浴中に1分間保持(43℃に上昇する)した後、直ちに氷水浴で冷却するとリポリシスは増加するが、個体によって差があり、本来高いリポリシスを示すものは増加の割合も大きい。しかし、それ以上長く加温するとリポリシスは激減し、5分間ではリパーゼ活性は2/3に減少する程度であるが、リポリシスはみられなくなった。冷却した個乳を15℃又は20℃に3分間加温すると平均してリポリシスは対照のそれぞれ2倍、4倍に達した。また、混合乳を種々の温度に1.5分保持したところ、搾乳後3時間冷却の場合は30℃、15時間冷却した場合は25℃の加温が最も高いリポリシスを示した。以上のように、リポリシスは熱に弱い、30℃前後の比較的低い温度に短時間の加温によりリポリシスの程度が大きく増加する。最大のリポリシスを示す加温条件は、加熱方法によっても変るが、加熱処理前の冷蔵条件によっても影響される。

先に、冷蔵時間が長くなると遊離脂肪酸生成の割合は低下すると述べたが、そのような場合に加温処理をするとリポリシスは再び増大する。例えば、冷蔵開始時の牛乳が示すリポリシスに比較すると、4時間後に20℃3分加温すると2.2倍になり、さらに20時間冷蔵後はリポリシスは1.2倍に減少しているが加温すると18.倍に上昇した。

攪拌・泡立て：搾乳から加工までの間において、牛乳の移動、処理に際し攪拌が行なわれ空気の混入による泡立ちをとまらう場合が多い。ポンプの使用は強力な攪拌であり過度の使用はリポリシスを増加させ<sup>59,60</sup>、特に空気の混入がある場合に効果が大きい<sup>61</sup>。その効果は温度によりことなり、15℃と30℃で大きく影響される<sup>62</sup>。なお、リポリシスに影響する機械的效果には温度依存性の閾値があるという<sup>59,63</sup>。乳脂肪の融点をさかいらして効果がことなるが、いずれにせよ脂肪球膜の損傷をとまない、リパーゼの作用を受けやすくする。乳脂肪の融点は28~36℃とされているが、実際はもっと広い範囲で液状脂肪と固体脂肪が混合した状態になっている。しかも、冷蔵乳を加温した場合と、加熱後冷却した場合は、同じ温度でも液状脂肪と固体脂肪の割合に差がある。物理的処理とリポリシスの関係は、液状脂肪と固体脂肪の割合によって変化するといわれ、僅かな処理条件の違いがリポリシスに大きく影響するのも当然である。DEETH & FITZ-GERALD<sup>64</sup>によれば、ミキサーや遠心ポンプ(空気混入)は5~20℃の間では15℃で最大のリポリシスを示した。攪拌前に2~4時間冷蔵すると攪拌後のリポリシスは増大し、特に本来リポリシスの程度が高い牛乳では著しかった。なお、攪拌後は30℃よりも5℃に保存する方がリポリシスの程度は高かったという。また、10℃以下で攪拌するとクリームへのリパーゼの移行が明らかであった。なお、彼等は、脂肪損傷の程度を測定する古典的方法(遊離脂肪酸の生成、脱脂部の脂肪率の測定など)はリポリシスの起りやすさを推定するには不適当であるとしている<sup>65</sup>。攪拌効果が15℃で大きいことは、BHAVADASANら<sup>66</sup>も報告しているが、攪拌条件によってもことなるであろう。マグネチックスターラーにより低速で攪拌した結果を、加温だけの場合や窒素通気による泡立ての場合と比較すると(図1)<sup>54</sup>、攪拌の影響が最も大きいのは20℃であった。一方、泡立ては加温、攪拌の効果が少ない30℃で最大の影響を与えた。このような物理的処理によるリポリシスの増大は、十分に冷却した牛乳では見られるが、搾乳後5℃に冷却後直ちに処理した場合は認められず、むしろ加温によ

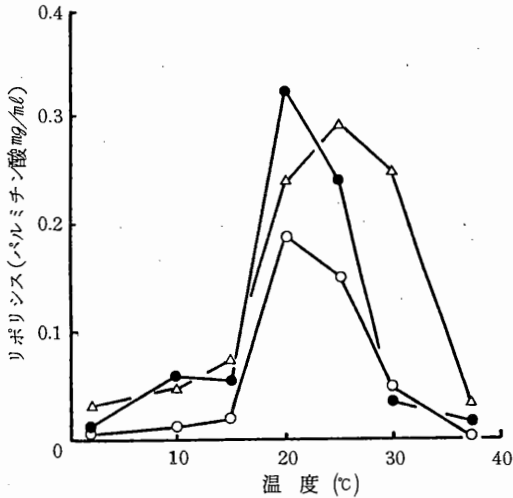


図2. 混合乳の加温、攪拌、泡立てによるリポリシスの変化と温度の関係

○加温、●加温と攪拌、△加温と泡立て

りポリシスは若干低下した。

凍結：氷の結晶の生成は脂肪球の損傷をとまなうためと思われるが、パルクローラにおける部分的凍結によりランシッドになった例がある。また、凍結乳はその後の冷蔵時におけるリポリシスが增大するという<sup>67)</sup>。しかし、凍結条件、特に凍結の速度と温度にもよると思われるが、牛乳全体が凍結した場合はリポリシスが低下する。-18°Cの冷凍庫に17時間保存した後に解凍した牛乳は、同じ時間冷蔵したものに比べ、その後のリポリシスは64%にすぎなかった。しかし、25°C3分の加温により、冷蔵試料を加温処理した場合と同じ程度のリポリシスを示すようになった。

## 5. 低温菌によるリポリシス

牛乳本来のリパーゼは不安定で冷蔵中に活性が低下する。一方、牛乳中に多かれ少なかれ存在する低温菌(7°C以下で増殖出来る細菌)は冷蔵期間が長くなると増殖するが、その際にリパーゼを生産するものが多い。冷蔵条件がよくなり、搾乳から加工までの時間が長くなると、低温菌の多い牛乳の場合はその増殖によるリポリシスが起る場合がある。細菌性リパーゼは耐熱性が高いから<sup>68,69,70)</sup>殺菌乳におけるランシッドの原因となる。特にL

L牛乳の場合に問題になる。

スコットランドの工場受入乳について調査した結果では<sup>71)</sup>、ランシッド乳はなかったが、それを6°Cで48時間保存したところリポリシスの程度は低温菌数と有意の相関を示し、25%はランシッド検出限界を越えたという。笹野ら<sup>72)</sup>はパルクローラ乳の低温菌と遊離脂肪酸含量を測定したが、いずれも定期的に攪拌した方が静置した場合よりもやや高い値を示した。MOTTAR<sup>73)</sup>によると、UHT乳には原料乳のリパーゼ活性の8.4%が残存し、総菌数の約10%を占める脂肪分解性低温菌数と高い相関を示した。DRIESSEN<sup>74)</sup>は、代表的な低温菌である*Pseudomonas fluorescens*のリパーゼはUHT乳中でリポリシスを示し、特に保存温度が高い場合に著しいと述べている。

ANDERSONら<sup>75)</sup>は、*P. fluorescens*の無細胞抽出液を加えてUHT乳(138°C、3秒)を製造し、加えたりパーゼ活性の50%が残存し、8°C保存によるランシッドおよび酸化臭の生成を認めた。*P. fluorescens*の発育適温は20°Cであるが8°Cで培地中に放出されるリパーゼが最大であり<sup>76)</sup>培養温度を25°Cから0°Cに下げるとリパーゼが増大した<sup>77)</sup>。脂肪分解菌のスクリーニング用の培地では脂肪分解を示さない低温菌でも牛乳中ではリポリシスを起す場合があるという<sup>78)</sup>。DRIESSEN & STADHOUDERS<sup>79)</sup>は原料乳の冷蔵時間が長くなる場合は64°C10秒の加熱により脂肪分解菌の大部分を死滅させることを勧めている。なお、低温菌とそのリパーゼについては多くの総説<sup>80,81,82)</sup>が発表されているが、特にSTEAD<sup>82)</sup>の総説が詳しい。

## 6. 牛乳処理技術の発展とランシッド

搾乳および牛乳加工の分野で新しい技術が導入された時にはランシッドの問題が付きまとった。その例のいくつかを説明する。

パイプラインミルク：開発当初のパイプラインミルクはリパーゼに関する配慮に欠けていた。すなわち、脂肪球の損傷を出来るだけ防ぐようには設計されていなかった。搾乳直後は脂肪が液状であり、空気の取り込みやパイプ内を牛乳が円滑に流れないために起る攪拌作用や泡立てにより脂

肪球が均質化効果を受けリパーゼが作用するようになりランシッドを誘発した。PILLAYら<sup>25)</sup>はバルククーラーから採取した試料のADVを測定し種々の搾乳システムとリポリシスの関係を調査したが、バケット型ミルカーを用い輸送缶でバルククーラーに運ぶ方式にくらべ、ミルクングパーラーの場合は、計量ジャーを通すと搾乳直後も冷蔵後もADVは2倍であった。また、計量ジャーのない場合は1.4倍であった。

パイプラインミルカーでは、空気漏れを防ぎ牛乳が流れやすいように設計するとランシッドを防止出来ることが判明したので、立上り配管をなくする、パイプを太くする、パイプへの流入口の位置を高くする、クローに真空遮断弁をつけ空気の吸込みを防ぐ、空気と牛乳の流れを別にする、などの対策が立てられた。真空度の調整によるリポリシスの低下も報告されている<sup>52,83)</sup>。牛乳を送るための真空度を下げるとリポリシスが半減したという<sup>52)</sup>。低位置配管搾乳設備(low level pipeline milking system)の開発はパイプラインミルカーによるランシッドを防ぐために非常に有効であった<sup>41)</sup>。笹野ら<sup>84)</sup>は、低位置配管方式によれば、従来の配管方式にくらべ、クローからの空気流入量が少なく、牛乳中の遊離脂肪酸含量も低いことを示した。ALFNES<sup>85)</sup>は、従来のパイプラインミルカーでも設計と維持管理の改善によりランシッドの問題を減少させ得ると述べている。

バルククーラー：パイプラインミルカーとバルククーラーの組合せ、あるいはバルククーラーだけの導入によってもランシッドが発生しやすくなると云われたが、それは必ずしも正しくない。

JANZEN<sup>86)</sup>は、17酪農場で、輸送缶を使用し毎日集乳した場合と、バルククーラーを用いた隔日集乳の場合のADVを比較している。バケット型ミルカーを使用した12酪農場では輸送缶の時は平均0.62、バルククーラーに切替えた後も0.60であったが、パイプラインミルカー使用の5農場では、それぞれ、0.61、1.01であった。バルククーラーに切替えた後にADVが高い酪農場があり、バルククーラー入口のパイプを底の近くまで延長する、攪拌羽根が完全に牛乳中に没してから回転させる、パイプラインの継手を締め、パイプ

ラインに入るコックの位置をパイプの中心より上に移すこと、により改善された。バルククーラーでは連続攪拌も、サーモスタットを用いて断続的に攪拌しても、リポリシスには差がなかったという<sup>87)</sup>。前述の温度活性化を考えると、バルククーラー中で冷却してある夕乳に朝乳を加える場合は乳温の上昇を最少限にする必要があり、冷却装置を通して加える方式が望ましい。集乳時にポンプを使用する際に、空気の混入、空転による脂肪球の損傷がないように注意する。さらに低温菌の汚染、増殖を防ぐことの重要性はいうまでもない。集乳費の節減を図るなどのために農場における冷蔵期間が長くなる場合、73.9℃10秒の準殺菌がリパーゼ活性の99%を失活させ<sup>88)</sup>、あるいはリポリシスを防ぎ<sup>89)</sup>、低温菌を減少させる効果が大きい<sup>88,89)</sup>という。加熱によるリポリシスの阻止はリパーゼを失活させるよりも容易である<sup>54)</sup>から、農場における加熱処理は有効である。しかし、わが国の場合には実用的ではないだろう。

市乳：均質化乳は脂肪球がリパーゼを最も受けやすい状態になっているから、均質化前にリパーゼが失活する温度に達していなければならない。この理解が不十分なために、牛乳の均質化が初めておこなわれた頃はランシッドに関する苦情が多く、それがリパーゼの研究を促進させたともいえる。さらに、鉄塩などを添加するとリパーゼの耐熱性が増大するので、ミネラル添加の場合もランシッドが問題になった。近代的な市乳製造工程においては、ランシッドを誘発する危険はない筈であるが、市販乳のADVを測定するとランシッドの閾値に達しているものがある<sup>90,91)</sup>。原料乳の長期冷蔵、脂肪率調整時における加温と遠心処理、殺菌均質化済みの残乳を原料乳に戻す、などの原因が考えられる。ニューヨーク市における調査<sup>91)</sup>によれば、敏感な人にはランシッドと感じられるADVが1以上の市乳は、工場では22.8%、販売店では56.4%(ADV平均1.1)、販売限度日のものでは91.6%(ADV平均1.7)であり、牛乳消費量の低下はランシッドのためであるという。BIALLAS<sup>92)</sup>も、市乳の消費の減少は機械化された搾乳、加工処理における過失によるリポリシスの増加と密接に関連していると述べている。ランシッ

ドは検出しやすい異常臭とされているが、日本人は食習慣の違いのためかランシッドをあまり気にしないように思われ、ADVの高い市乳であっても風味に関する苦情は表面化していないようである。

LL牛乳を室温に長期保存した場合に起りやすい欠陥はリポリシスとゲル化であるという。原料乳の冷蔵中に低温菌が増加すると、それによって作られたリパーゼの一部は滅菌後も残存しLL牛乳の長期保存中に風味の劣化を起すといわれる<sup>93)</sup>。保存期間が長いので、通常のリパーゼ活性測定法では検出されない程度の低い活性でも遊離脂肪酸の増加がみられるのであろう。市販のLL牛乳について保存試験を試みたところ、室温では3カ月保存しても遊離脂肪酸の明らかな増加はないが、37℃では増加が認められた<sup>90)</sup>。また、24℃8ヶ月の保存でもリポリシスが認められなかったという<sup>94)</sup>。要するに、保証期間内での室温保存であればリポリシスはないといえよう。

## 7. む す び

遊離脂肪酸は牛乳らしい風味を与える成分のひとつであり、牛乳脂肪を加水分解させたものを加えて加工用乳製品の風味を強化する試みもある程であるが、原料乳についていえば、遊離脂肪酸の増加は風味の低下、異常臭の発生につながるの、リポリシスを防がなければならない。リポリシスを増大させる要因は多く、工場受入後もリポリシスが進む可能性があるから、種々の条件がかさなり、原料乳、あるいは乳製品がランシッドになる危険性は大きい。特に冷蔵期間が長くなると低温菌の作用も加わるので油断出来ない。リポリシスが低いというのは、牛乳が丁寧に取扱われたことを意味し、さらに、飼料が十分であるとか、潜在性乳房炎牛が少ないなど、飼養管理が適切であること、ならびに搾乳施設の整備、調整が完全である証拠といえよう。リポリシス自体は、衛生上問題になることではないが、牛乳の生命である風味に直接関与するから、原料乳質を判定する上で重視すべきである。さらに、原料乳がランシッドになると脂肪率の測定結果にも影響する場合がある。ゲルベル法やレーゼゴットリーブ法に対するは影

響はわずかであるが、ミルコテスターを使用する場合は1ADVの増加により測定値は0.031%低くなるという<sup>95)</sup>。

リポリシス、ランシッド、あるいはリパーゼに関する研究は半世紀以上にわたって続けられ、不明の点も多いが、少なくとも原料乳のリポリシスを最少限にとどめランシッドを防止するために必要な知識は十分に蓄積されている。その知識の普及、活用を図り、風味のよい牛乳を生産するための努力の一部としたい。



文 献

- 1) SHIPE, W. F., R. BASSETTE, D. D. DEANE, W. L. DUNKLEY, E. G. HAMMOND, W. J. HARPER, D. H. KLEYN, M. E. MORGAN, J. H. NELSON and R. H. SCANLAN, *J. Dairy Sci.*, 61:855-869. 1978.
- 2) 日本国際酪農連盟, 第67回国際年次会報告, 資料54号, B69-73. 1983.
- 3) FLYNN, A. and P. A. FOX, Jr. *J. Food Sci. Tech.*, 4:173-176. 1980.
- 4) DOWNEY, W. K., *Proc. Lipolysis Sympo.*, IDF Doc 86:80-89. 1975.
- 5) 日本国際酪農連盟, 第63回国際酪農連盟年次会議報告, 資料39号, A3-89. 1979.
- 6) DEETH, H. C. and C. H. FITZ-GERALD: *Developments in Dairy Chemistry-2* (P. F. FOX, ed.) 195-239. Applied Science Publishers. London. 1983.
- 7) CHILLIARD, Y. and G. LAMBERT, *Lait*, 64:544-578. 1984.
- 8) 斎藤善一, 酪農科学の研究, 16:A1-13. 1967.
- 9) 斎藤善一, 日畜会報, 48:299-307. 1977.
- 10) 斎藤善一, 乳技協資料, 32:2-12. 1982.
- 11) SHIMIZU, M., J. MIYAJI and K. YAMAUCHI, *Agric. Biol. Chem.*, 46:795-799. 1982.
- 12) SUNDHEIM, G. and G. BENGTSO-OLIVECRONA, *J. Dairy Sci.*, 68:589-593. 1985.
- 13) CASTBERG, H. B. and P. SOLBERG, *Meieriposten*, 63(51/52) 961-975. 1974.
- 14) CASE, R. A., R. L. BRADLEY, JR. and R. R. WILLIAMS, *Standard Methods for the Examination of Dairy Products 15th ed.* (G. H. RICHARDSON, ed.) 327-404. 1985.
- 15) PILLAY, V. T., A. N. MYHR and J. I. GRAY, *J. Dairy Sci.*, 63:1213-1218. 1980.
- 16) ANDERSON, M., *J. Dairy Technol.*, 36:3-7. 1983.
- 17) KUZDZAL-SAVOIE, S., *Proc. Lipolysis Sympo.*, IDF Doc. 86:165-170. 1975.
- 18) BRÄTHEN, G., *Meieriposten*, 69:345-352. 1980.
- 19) SUHREN, G., *Molkerei-Zeitung, Welt der Milch*, 39:753-756. 1985.
- 20) SENYK, G. F., S. C. MURPHY, D. M. BARBANO and W. F. SHIPE, *J. Dairy Sci.*, 68, Suppl. 1:73. 1985.
- 21) SHIPE, W. F., G. F. SENYK, R. A. LEDFORD, D. K. BANDLER and E. T. WOLFF, *J. Dairy Sci.*, 63, Suppl. 1:43. 1980.
- 22) DEETH, H. C. and FITZ-GERALD, *Aust. J. Dairy Technol.*, 31:53-64. 1976.
- 23) HEMINGWAY, E. B., G. H. SMITH and J. A. F. ROOK, *J. Soc. Dairy Technol.*, 23:44-48. 1970.
- 24) WINTER, R., K. PABST, D. ORDOLFF and H. O. GRAVERT, *Kiel. Milch-wirtschaft. Forschungsber.*, 33:221-226. 1981.
- 25) PILLAY, V. T., A. N. MYHR, J. I. GRAY and D. ABIGGS, *J. Dairy Sci.*, 63:1219-1223. 1980.
- 26) JELLEMA, A. and C. SCHIPPER, *Proc. Lipolysis Sympo.*, IDF Doc. 86:2-6. 1975.
- 27) SAITO, Z., *Research in Food Science Vol. 5* (J. V. MCLOUGHLIN and B. M. MCKENNA eds.) 273-283. Boole Press. Dublin. 1984.
- 28) SHIPENS, P., *Meieriposten*, 71:180-181. 1982.

- 29) SAITO, Z., Proc. 5th World Conf. Anim. Prod., 647-648. 1983.
- 30) SUHREN, G., J. HAMANN, W. HEESCHEN and A. TOLLE, *Milchwissenschaft*, 36:150-153. 1981.
- 31) MURPHY, J. J., J. F. CONNOLLY and D. R. HEADON, Ir. J. Food Sci. Technol., 3:131-149. 1979.
- 32) JELLEMA, A., *Milchwissenschaft*, 41:553-558. 1986.
- 33) THOMAS, W. R. and W. J. HARPER, *J. Dairy Sci.*, 38:315-316. 1955.
- 34) LUHTALA, A. and M. ANTLLA, *Fette Seifen Austringmittel*, 70:280-288. 1968.
- 35) ASTRUP, H. N., *Meieriposten*, 69:122-124. 1980.
- 36) ASTRUP, H. N., L. BAEVRE, L. VIK-MO and A. EKERN, *J. Dairy Res.*, 47:287-294. 1980.
- 37) CONNOLLY, J. F., XX Int. Dairy Congr. Paris, IDF Doc. 62:32pp. 1978.
- 38) ASTRUP, H. N., L. VIK-MO, O. SKRØVSETH and A. EKERN, *Milchwissenschaft*, 35:1-4. 1980.
- 39) ASTRUP, H. N., *Meieriposten*, 73:282. 1984.
- 40) LEHMANN H., *Deutsche Milchwirtschaft*, 33:172-174. 1982.
- 41) BROUWER, J., *Zuivelzucht*, 73:714-715. 1981.
- 42) AZZARA, C. D. and P. S. DIMICK, *J. Dairy Sci.*, 68:1804-1812. 1985.
- 43) AZZARA, C. D. and P. S. DIMICK, *J. Dairy Sci.*, 68:3171-3175. 1985.
- 44) ANDERSON, M. and E. C. NEEDS, *J. Dairy Res.*, 50:309-319. 1983.
- 45) SUNDHEIM, G., T. -L. ZIMMER and H. N. ASTRUP, *J. Dairy Sci.*, 66:400-406. 1983.
- 46) VITKOV, M., I. AYAROV, R. PESHEVA and T. DIMITROV, *Dairy Sci. Abst.*, 45:935. 1983.
- 47) TALLAMY, P. T. and H. E. RANDOLPH, *J. Dairy Sci.*, 52:1569-1572. 1969.
- 48) RANDOLPH, E. E. and R. E. EDWIN, *J. Dairy Sci.*, 57:863-865. 1974.
- 49) JELLEMA, A., *Neth. Milk Dairy J.*, 29:145-152. 1975.
- 50) JURCZAK, M. E. and A. SCIUBISZ, *Milchwissenschaft*, 36:217-219. 1981.
- 51) AHRNÉ, L. and L. BJÖRCK, *J. Dairy Res.*, 52:55-64. 1985.
- 52) NEEDS, E. C., M. ANDERSON and S. V. MORANT, *J. Dairy Res.*, 53:203-210. 1986.
- 53) KITCHEN, B. J. and J. W. ASTON, *Aust. J. Dairy Technol.*, 25:10-13. 1970.
- 54) 斎藤善一・澤村 浩, *日畜東北支部会報* 34:10-12. 1984.
- 55) NIELSEN, J. V., *Nordisk Mejeriindustri*, 5:9-12, 20. 1978.
- 56) HOHE, K. A., P. S. DIMICK and A. KILARA, *J. Dairy Sci.*, 68:1067-1073. 1985.
- 57) ASTRUP, H. N. *Meieriposten*, 73:282. 1984.
- 58) WANG, L. and H. E. RANDOLPH, *J. Dairy Sci.*, 61:874-880. 1978.
- 59) HIESSERICH, D. and H. REUTER, *Milchwissenschaft*, 40:530-532. 1985.
- 60) ESCOBAR, G. J. and R. L. BRADLEY, JR., *J. Dairy Sci.*, 68 Suppl. 1:61. 1985.
- 61) HICKS, C. L., A. PURBA and J. ÓLEARY, *J. Dairy Sci.*, 67 Suppl.

- 1:76. 1984.
- 62) HIESSERICH, D. and H. REUTER, *Milchwissenschaft*, 40:464-466. 1985.
- 63) HIESSERICH, D. and H. REUTER, *Milchwissenschaft*, 39:333-335. 1984.
- 64) DEETH, H. C. and C. H. FITZ-GERALD, *J. Dairy Res.*, 44:569-583. 1977.
- 65) DEETH, H. C. and C. H. FITZ-GERALD, *J. Dairy Res.*, 45:373-380. 1978.
- 66) BHAVADASAN, M. K., M. J. ABRAHAM and N. C. GANGULI, *J. Dairy Sci.*, 65:1692-1695. 1982.
- 67) FORMAN, L., *Dairy Sci. Abst.*, 47:51. 1985.
- 68) GRIFFITHS, M. W., J. D. PHILLIPS and D. D. MUIR, *J. Appl. Bact.*, 50:289-303. 1981.
- 69) ANDERSON, R. E., C. B. HEDLUND and U. JONSSON, *J. Dairy Sci.*, 62:361-367. 1979.
- 70) ADAMS, D. M. and T. G. BRAWLEY, *J. Dairy Sci.*, 64:1951-1957. 1981.
- 71) MUIR, D. D., M. E. KELLY, J. D. PHILLIPS and A. G. WILSON, *J. Soc. Dairy Tech.*, 31:137-144. 1978.
- 72) 笹野 貢・熊野康隆・岡田迪徳・長南隆夫, *酪農科学・食品の研究*, 32:A135-138. 1983.
- 73) MOTTAR, J., *Milchwissenschaft*, 36:87-91. 1981.
- 74) DRIESSEN, F. M., *NIZO-Verlagen*, V236:157pp. 1983.
- 75) ANDERSON, R. E., G. DANIELSSON, C. B. HEDLUND and S. G. SVENSSON, *J. Dairy Sci.*, 64:375-379. 1981.
- 76) ANDERSON, R. E., *Applied and Environmental Microbiol.*, 39:36-40. 1980.
- 77) BUCKY, A. R., HAYES, P. R. and D. S. ROBINSON, *Food Microbiology*, 3:37-44. 1986.
- 78) JUVEN, B. J., S. GORDIN, I. ROSENTHAL and A. LAUFER, *J. Dairy Sci.*, 64:1781-1784. 1981.
- 79) DRIESSEN, F. M. and J. STADHOU-DERS, *Zuivelzucht*, 70:1080-1082. 1978.
- 80) COUSIN, M. A., *J. Food Protection*, 45:172-207. 1982.
- 81) 三河勝彦, *乳技協資料*, 34:1-16. 1984.
- 82) STEAD, D., *J. Dairy Res.*, 53:481-505. 1986.
- 83) LALOUX, J., *Dairy Sci. Abst.*, 46:909. 1984.
- 84) 笹野 貢・岡田迪徳・長南隆夫, *昭和55年度北海道酪農検査所事業成績報告書*:47-53. 1981.
- 85) ALFNES, T., *Meieriposten*, 72:74-79. 102-103. 1983.
- 86) JANZEN, J. J., *South Carolina Agr. Exp. Sta. Circular*, 139:1-9. 1964.
- 87) BAKKE, H., *Meieriposten*, 71:212. 1982.
- 88) SENYK, G. F., R. R. ZALL and W. F. SHIPE, *J. Food Protection*, 45:513-515, 518. 1982.
- 89) ZALL, R. R. and J. CHEN, *J. Dairy Sci.*, 64:1540-1544. 1981.
- 90) 齋藤善一, *日畜東北支部会報*, 35:27-29. 1985.
- 91) BANDLER, D. K., *Dairy and Food Sanitation*, 2:312-315. 1982.
- 92) BIALLAS, E., *Molkerei-Zeitung, Welt der Milch*, 35:1086-1088. 1981.
- 93) RENNER, E. and R. SCHMIDT, *UHT 乳論文集 (IDF Doc 133:1981 邦訳)*

60-80. 日本国際酪農連盟. 東京. 1984.

94) HANSEN, A. P. and G. F. SENYK,  
J. Dairy Sci., 69, Suppl. 1:55.  
1986.

95) GRAPPIN R. and R. JEUNET,  
J. Dairy Sci., 64, Suppl. 1:41.  
1981.